

УДК 536.421.5

О. В. Харченко; М. М. Прокопів, В. А. Лукаш, кандидати техн. наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України м. Київ

ВПЛИВ УМОВ СПІКАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ЗІ СПЛАВУ ВК8М НА ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ СТІКІСТЬ В ПРОЦЕСІ НАПЛАВЛЕННЯ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ НІКЕЛЮ ТА МІДІ

Наведено результати впливу умов спікання на експлуатаційну стійкість інструменту зі сплаву ВК8М в процесі зварювання тертям з перемішуванням нікелю та міді. Показано, що компресійне спікання під тиском газу 2,5 МПа підвищує експлуатаційну стійкість удвічі порівняно зі спіканням у вакуумі.

Ключові слова: компресійне спікання, вакуумне спікання, експлуатаційна стійкість, зварювання тертям з перемішуванням.

Вступ

Великі світові наукові центри інтенсивно освоюють метод зварювання тертям з перемішуванням різнорідних матеріалів, розроблений у 1991 р. у Британському інституті зварювання [1]. Ця технологія промислово освоєна та широко застосовується у вагоно-, автомобіле- та авіапромисловості [1]. Перспективний напрям полягає в застосуванні цієї технології для відновлення зношених поверхонь плоских кристалізаторів для безперервного розливання сталі на металургійних комбінатах.

В Україні дослідження в цьому напрямі починаючи з 2010 р. здійснюють в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона та Інституті надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України.

Основним елементом процесу наплавлення є інструмент спеціальної конструкції, який занурений в зварюваний матеріал з осьовою силою $P_{ос}$ здійснює обертальний та поступальний рухи з боковою силою $P_{бок}$. В наслідок виділення теплоти при терті інструменту під час обертання (n), та поступального руху (s), метал наплавки розм'якшується і перемішується з основою з утворенням зварного шва. Як засвідчили результати розрахунків, у зоні зварювання температура повинна на 50–100 °С перевищувати температуру початку рекристалізації металу, що наплавляється. Так, для нікелю вона становить 1050–1150 °С. Таким чином, робоча поверхня інструменту при зварюванні перебуває у важких термодинамічних умовах, як і при механічному обробленні важкооброблюваних матеріалів. У цьому зв'язку основна проблема реалізації цієї технології полягає у створенні інструменту, який забезпечуватиме надійність роботи в таких умовах.

Для виготовлення такого інструменту використовують сплави ВК8, ВК10 як із середньо-, так і дрібнозернистою структурою. Результати численних випробувань інструменту з таких сплавів засвідчили його задовільну результативність при зварюванні або наплавленні міді, проте при роботі з нікелем ресурсу такого інструменту недостатньо.

Один з основних шляхів поліпшення високотемпературних властивостей твердих сплавів зазначених марок – зменшити розмір карбідного зерна та мінімізувати його залишкову мікропористість. Одержані компресійним спіканням під тиском азоту 2,5 МПа [2] дрібнозернисті високощільні сплави групи ВК в найбільшій мірою відповідають вимогам до інструменту для роботи в таких умовах. Мета пропонованого дослідження полягала у вивченні впливу компресійного спікання під тиском газу за різних умов охолодження на експлуатаційну стійкість твёрдосплавного інструменту на сплаві ВК8М.

Методика дослідження

Дослідження здійснювали у виробничих умовах фірми «Впровадження інженерних зварювальних процесів» при наплавленні пластин нікелю різної товщини на зразок мідної плити кристалізатора.

Геометричні розміри елементів робочої частини інструмента визначені з літературних джерел та уточнені в процесі експериментальних досліджень.

Параметри процесу зварювання: сила осьова – $P_{ос.} = 50$ кН; сила бокова – $P_{бок.} = 2$ кН; кількість обертів – $n = 1400$ хв⁻¹; подача – $s = 40; 60; 80$ мм/хв.

Стійкість інструменту визначали довжиною (L , мм) якісно сформованого зварного шва.

Для порівняння були спечені три партії інструменту: П.С – спечені за стандартним режимом у вакуумі; П1 – спечені та охолоджені під тиском азоту 2,5МПа; П2 – спечені під тиском азоту 2,5МПа та охолоджені у вакуумі.

Вибір двох режимів спікання під тиском азоту, різних за умовами охолодження, обумовлений різним впливом останніх на структуру та властивості сплаву. Фізико-механічні властивості та структурні характеристики визначали по стандартним методикам.

Результати дослідження та їх обговорення

Характеристику структури та фізико-механічні властивості спеченого за різних умов сплаву ВК8М наведено в табл. 1, а структуру показано на рис. 1.

Таблиця 1. Фізико-механічні властивості та структурні характеристики сплаву ВК8М, спеченого за різних умов

Властивість	Значення за технологій спікання		
	(П.С)	(П1)	(П2)
Коерцитивна сила H_c кА/м	17,3	17,6	17,1
Густина γ , г/см ³	14,65	14,75	14,78
Твердість HRA	89,4	89,9	89,8
Межа міцності при згині R_{bm} , МПа	1880	1980	2115
Коефіцієнт тріщиностійкості K_{IC} , МПа·м ^{1/2}	12,5	12,1	12,9
Середній розмір зерна d_{wc} , мкм	1,70	1,65	1,64
Об'ємна пористість, %	V4 0,4	V1 0,1	V1 0,1
Кількість пор розміром понад 50 мкм	54, 67	–	–
Розмір великих зерен карбіду вольфраму та їх скупчень, мкм	15–20	10–15	10–15
Розмір кобальтової фази, мкм	0,3–0,5; 1,0	0,3–0,5	0,32–0,5

Як випливає з даних табл. 1, для всіх технологій спікання характерні відсутність пор розміром понад 50 мкм, та однаковий розмір кобальтової фази.

Структура сплаву (П.С) має залишкову мікропористість V4 0,4 та скупчення зерен карбіду вольфраму розміром до 20 мкм. Проте середній розмір зерна d_{wc} становить 1,65 мкм, що відповідає розміру дрібнозернистих сплавів. Коерцитивна сила, густина та твердість відповідають стандартним значенням сплаву ВК8М, а межа міцності при згині більша на 100 МПа. Разом з тим, тріщиностійкість сплаву партії (П.С) на 0,7 МПа·м^{1/2} перевищує значення отриманих по технології водневого спікання, що при експлуатації за важких умов має важливе значення.

При компресійному спіканні як при охолодженні під тиском азоту 2,5 МПа (П1), так і у вакуумі (П2), залишкова мікропористість зразків зменшується до V1 0,1, розмір скупчень великих зерен карбіду вольфраму – до 15 мкм. При цьому середній розмір зерна d_{wc} залишається незмінним. Крім того, в об'ємі зразків відсутні пори розміром більше 50 мкм. Для зразків (П1) і (П2) спостерігається тенденція збільшення густини в порівнянні зі зразками (П.С).

Водночас межа міцності при згині R_{bm} зразків (П1) збільшується на 100 МПа, тріщиностійкість – незначно зменшується порівняно зі значеннями зразків (П.С).

Значення межа міцності при згині R_{bm} зразків (П.2) збільшуються в 1,25 рази порівняно зі значеннями для зразків (П.С), а тріщиностійкість збільшується на $0,4 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$.

Структуру стандартного сплаву ВК8М, спеченого по даним технологіям зображено на рис.1.

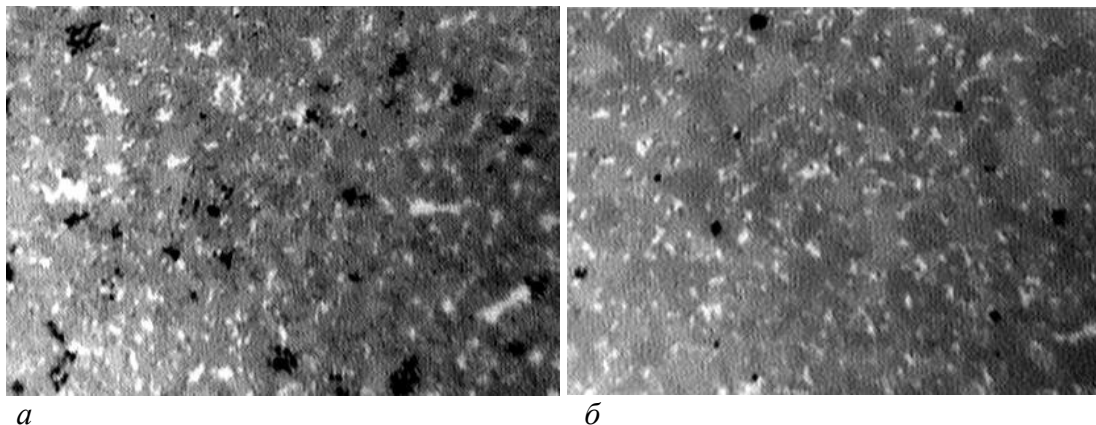


Рис. 1. Мікроструктура не травленого шліфа сплаву ВК8М, спеченого за різних умов: а – вакуумне спікання $\times 1600$, б – компресійне спікання і охолодження під тиском та у вакуумі $\times 1600$

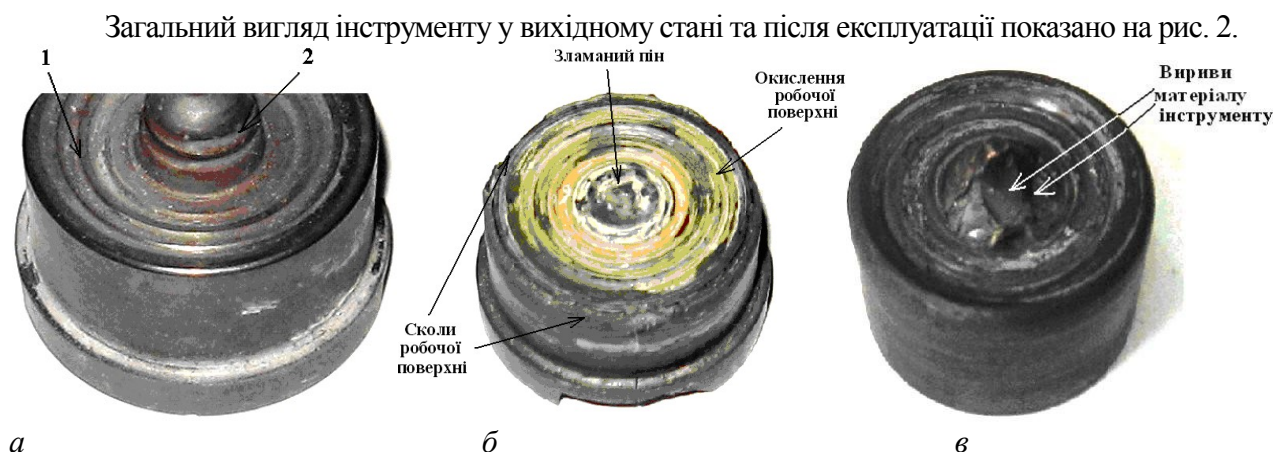


Рис. 2. Фотографії загального виду інструментів із сплаву ВК8М до випробувань (а) та після втрати ними працездатності (б, в): б – стандартне спікання (П.С), компресійне спікання та охолодження під тиском азоту 2,5 МПа (П1); в – компресійне спікання під тиском азоту та охолодження у вакуумі (П2); 1 – евольвентна канавка на робочій поверхні, 2 – евольвентна канавка на пині

У результаті дослідження встановлено, що стійкість інструментів П.С, П.1, П.2 становить відповідно 350, 790 та 980 мм.

Проаналізувавши робочі поверхні інструменту після втрати ним працездатності, виявили такі загальні види зносу та руйнування всіх інструментів (рис. 2):

- абразивне зношення, про що свідчить зменшення глибини або зникнення евольвентної канавки;
- окислення, на що вказує порошкоподібний світло-жовтий наліт;
- налипання нікелю та його дифузії в структурі твердого сплаву не відбувається.

Загальним для двох перших інструментів є втрата працездатності в результаті відламування конусного піну біля основи, а також сколи по зовнішньому периметру торцевої поверхні (рис. 2, б). При цьому зношення евольвентних канавок робочих поверхонь становило відповідно 90 та 70%. Таким чином, їх стійкість визначається термоактивованою втомлюваною міцністю твердого сплаву.

Водночас зношення інструменту П.2 істотно відрізняється від зношення перших двох зразків (рис. 2, в). По-перше, не виявлено повного відламування конусного піна, а також сколів по периметру торцевої поверхні. По-друге на боковій поверхні від основи до вершини піна утворились виїмки по дузі довжиною до 10 мм та глибиною до 2 мм у результаті локального руйнування матеріалу (рис. 2, в), які біля основи частково заповнені нікелем (рис. 3).

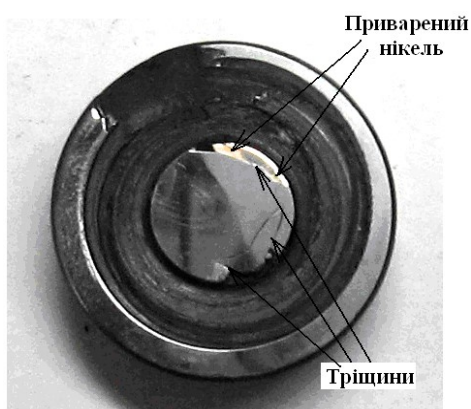


Рис. 3. Загальний вигляд шліфа з тріщинами біля основи піна

У результаті аналізу поверхні шліфа зрізу піна біля його основи в місцях, де відбулось найбільше виривання частини матеріалу (рис. 3) на глибині 1–2 мм від зовнішньої поверхні піна виявлено одну, або дві паралельні радіальні тріщини. У частині тріщини, яка межує з виривами, міститься нікель.

Візуально при збільшенні до 8 раз на оптичному мікроскопі не виявлено налипання нікелю на неушкодженій поверхні піна, що свідчить про відсутність адгезійної взаємодії сплаву та нікелю. Таким чином, утворенню зазначених виривів піна передують утворення втомлених тріщин на глибині 1–3 мм від його робочої поверхні біля основи, ініційованих термомеханічними напруженнями. При цьому, зношення евольвентних канавок, як П.1, становило відповідно 70%. Отже, за абразивною стійкістю сплаву інструменти П1 і П2 мають 30%-й запас. Під цим оглядом впливає що, режими охолодження після компресійного спікання на впливають на абразивну та адгезійну стійкість інструменту зі сплаву ВК8М в розглянутих умовах роботи. Разом з тим охолодження у вакуумі підвищує його високотемпературну втомлювану міцність. Таким чином, отримана експлуатаційна стійкість інструменту П.2 мінімально достатня для виконання обсягу робіт за господарськими договорами.

Тривають дослідження технології серійного виробництва такого інструменту для виконання договірних робіт з підприємствами як України, так і далекого зарубіжжя.

Висновки

Умови спікання інструменту зі сплаву ВК8М так впливають на експлуатаційну стійкість:

– при спіканні та охолодженні під тиском азоту 2,5 МПа вдвічі підвищується експлуатаційна стійкість інструменту порівняно з експлуатаційною стійкістю після стандартного вакуумного спікання;

– при охолодженні у вакуумі після спікання під тиском газу в 1,2 рази підвищується стійкість інструменту в порівняно з його охолодженням під тиском азоту внаслідок підвищення втомлюваної високотемпературної стійкості сплаву.

Приведены результаты влияния условий спекания на эксплуатационную стойкость инструмента из сплава ВК8М в процессе сварки трением с перемешиванием никеля и меди. Показано, что компрессионное спекание под давлением газа 2,5 МПа повышает эксплуатационную стойкость в 2 раза по сравнению со спеканием в вакууме.

Ключевые слова: компрессионное спекание, вакуумное спекание, эксплуатационная стойкость, сварка трением с перемешиванием.

The results of influence of terms of spikannya are brought around to operating firmness of instrument from the alloy of BK8M in the process of welding a friction with interfusion of nickel and copper. It is shown that compression spikannya force-feed gas of 2,5 MPa increases operating firmness in 2 times as compared to spikannya in a vacuum.

Key words: *compression spikannya, vacuum spikannya, operating firmness, welding a friction with interfusion.*

Література

1. Восстановление плит медных кристаллизаторов непрерывной разливки стали методом наплавки трением с перемешиванием / В. И. Зеленин, М. А. Полещук, Е. В. Зеленин и др. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2010. – Вып.13. – С. 476–479.
2. Панов В. С., Чувилин А. М., Фальковський В. А. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них. –М.: МИСиС, 2004.

Надійшла 20.06.13

УДК 621.9:539.89

В. І. Лавріненко, д-р техн. наук, **Г. Д. Ільницька**, канд. техн. наук, **В. В. Смоквина**¹;
В. Ю. Солод, канд. техн. наук²

¹*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ*

²*Дніпродзержинський державний технічний університет МОН України, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ УМОВ СПРЯМОВАНОГО ТЕПЛОВОГО ВПЛИВУ НА ЗМІНУ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АЛМАЗНИХ ЗЕРЕН ТА ЇХ ЗНОСОСТІЙКІСТЬ У ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГАХ

Розглянуто вплив термооброблення на зміну величини питомої магнітної сприйнятливості, та встановлено діапазон температур, при яких магнітні властивості алмазів досягають максимуму. Встановлено вплив домішкового вмісту зерен та значення питомої магнітної сприйнятливості на властивості та експлуатаційні характеристики синтетичних алмазів у шліфувальному інструменті.

Ключові слова: *питома магнітна сприйнятливість, термообробка, синтетичний алмаз, зносостійкість.*

У машинобудуванні на алмазно-абразивне оброблення припадає чверть усіх операцій, а в підшипниковому, інструментальному та оптико-механічному виробництві – понад 50%. Для цього застосовують важкооброблювані матеріали, які піддаються обробленню лише ефективними інструментами на основі алмазів та кубічного нітриду бору. Разом з тим високопродуктивне оброблення таких матеріалів у промисловості стримується підвищенням зносом високошвидкісного інструменту з НТМ або втратою ним різальної здатності.

Відомі розробки з поновлення різальної здатності кругів з НТМ, у тому числі введенням додаткової енергії, але побічним ефектом цього є зниження зносостійкості кругів. Здебільшого це вирішується поліпшенням властивостей зв'язок та переходом до зерен шліфпорошків НТМ більшої міцності. Проте механічне збільшення міцності зерен,